

## **ATTACHMENT C**

English translation on page 215, line 5 to page 218, Fig.-6.

## 2. BPSG film

### 2.1 Reflow characteristics

BPSG film is more suitable than BSG film as an interlayer insulation film, since the film is free of gettering effect on mobile ions which are a problem in BSG (boronsilicate glass) film, and also the film can improve devitrification phenomenon caused by reaction with moisture in the region of high concentration boron.

The method for forming BPSG film include atmospheric pressure CVD (chemical vapor deposition) low-pressure CVD, plasma CVD. Since film properties of BPSG prepared by each method are somewhat different with one another, reflow of the films are also different a little. The differences are, however, less than dependency of boron and phosphorus concentrations.

Table-1 Production method of low-temperature reflow film and reflow properties.

film	Production method	Concentration (mol%)	Reflow properties	Document
BPSG	Apmospheric pressure CVD (SiH <sub>4</sub> , PH <sub>3</sub> , B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , O <sub>2</sub> ) 340-430°C	4.4%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·14.3%B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Reflow temperature 800-825°C (in steam), 825-850°C (in N <sub>2</sub> )	6)
		7.2%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·8.6%B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	850°C, 30min, up to 50° of reflow angle	7)
	Low pressure CVD (SiH <sub>4</sub> , PH <sub>3</sub> , B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , O <sub>2</sub> ) ~425°C	4.4%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·10%B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	925°C, 30min in steam, Good shape	8)
	Low pressure CVD (TEOS, PH <sub>3</sub> , TMB) ~680°C	3.4%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·16%B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	800°C, 60min, in N <sub>2</sub> , up to 50° of reflow angle	9)
	Plasma CVD (SiH <sub>4</sub> , PH <sub>3</sub> , B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , N <sub>2</sub> O, O <sub>2</sub> ) 300-380°C	5.5%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·14.3%B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	820°C, 30min, in steam, 50° of reflow angle	10)
		4.6%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·16.3%B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	920°C, 30min, in steam, 90% planarization	11)
	Spin on (Organic silicone, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	4.4%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·11.5%B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	940°C, 20min, in N <sub>2</sub> , 50° of reflow angle	12)
	Thermal diffusion method PSG film plus B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> source	4.4%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	750°C, B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 1,000Å, 50° of reflow angle	13)
BSG	Apmospheric pressure CVD (SiH <sub>4</sub> , B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , O <sub>2</sub> ) ~430°C	~19% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Reflow temperature 800-825°C (in steam) 825-850°C (in water)	6)
AsSG	Apmospheric pressure CVD (SiH <sub>4</sub> , AsCl <sub>3</sub> , O <sub>2</sub> ) ~400°C	~20% As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	850°C, 20min in N <sub>2</sub> , Good shape	14)
	Apmospheric pressure CVD (SiH <sub>4</sub> , AsH <sub>3</sub> , O <sub>2</sub> ) ~450°C	~17% As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	800°C, 15min in steam, Good shape	15)
AsPSG	PSG(Apmospheric pressure) plus As ion implantation	~8% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> As ~5x10 <sup>16</sup> cm <sup>-2</sup>	800°C, 180min in O <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> , Good shape	16)
PGSG	Apmospheric pressure CVD (SiH <sub>4</sub> , GeH <sub>4</sub> , PH <sub>3</sub> , O <sub>2</sub> ) ~420°C	~5% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ~43% GeO <sub>2</sub>	800°C, 30min in N <sub>2</sub> , Good shape	17)
Si-Ge	Low pressure CVD (SiH <sub>4</sub> , GeH <sub>4</sub> , B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ) ~450°C	Ge/Si=3-5	750°C, in steam, Good shape	18)

Fig.-1 shows relation between reflow angle and concentrations of phosphorus and boron. As to BPSG film, reflow angle is sharply decreased along with increase of boron concentration, in comparison with PSG film (marked by "." in the figure).

Fig.-2 shows temperature dependency of reflow angle in the range of 850 to 950 °C. It is possible to obtain good shape even

below 850 °C.

Degree of influence on reflow between phosphorus and boron doped amounts can be compared by mol%, since BPSG film has a structure of  $(\text{SiO}_2)_x \cdot (\text{P}_2\text{O}_5)_y \cdot (\text{B}_2\text{O}_3)_z$ . Fig.-3 shows the relation between reflow angle when treated at 900°C for 30 min under  $\text{N}_2$  atmosphere and  $(\text{P}_2\text{O}_5 + \text{B}_2\text{O}_3)$  mol%. Reflow angle is substantially determined by sum of  $\text{P}_2\text{O}_5$  mol% and  $\text{B}_2\text{O}_3$  mol%. The effect of doped phosphorus and boron atoms on reflow properties are substantially the same. Therefore, total doped amount of phosphorus and boron are determined by certain reflow angle. For example, in order to obtain 50° of reflow angle, required sum of molar concentration are 12 mol% at 950 °C, 14 mol% at 900 °C, 18 mol% at 850 °C, respectively.

The results under  $\text{N}_2$  atmosphere are demonstrated above. BPSG film, similar to PSG film, tends to reflow easily under steam atmosphere. Steam correspond to 50°C to 70°C of decrease in temperature. This is because  $\text{OH}^-$  ions contained in the film weaken Si-O bond in  $\text{SiO}_2$  network.

## 2.2 Humidity resistance

When reflow film is applied to interlayer insulation film, increase of doped amount of boron and phosphorus results in lowering melt temperature (corresponding to softening point in glass) allowing low-temperature reflow. However, hygroscopicity increases. From the standpoint of reliability, upper limit of doped amount should be figured out.

Time dependency of deuterium oxide penetrated into BPSG film in high-temperature moistening test compared to PSG film is shown in Fig.-4. Deuterium oxide ( $\text{D}_2\text{O}$ ) is used to avoid influence of moisture ( $\text{H}_2\text{O}$ ) in film and atmosphere. Depth of diffusion increase in proportion to  $t^n$  (t: test time). "n" is in conformity with the results of Levin. In addition, depth of diffusion of moisture increases along with increase of boron concentration, but decreases along with increase of phosphorus concentration.

Phosphorus is solved out along with diffusion of moisture. In case of PSG, not less than 8-9 wt.% concentration of P cause corrosion of aluminum. This is because dissolution of aluminum in phosphoric acid generated by the reaction of phosphorus in PSG film with water. The relationship between phosphorus

leaching rate and concentrations of boron and phosphorus are shown in Fig.-5. These samples are pretreated at 900 °C for 30 min under N<sub>2</sub> conditions. In case of BPSG film, phosphorus solves out sharply in the phosphorus concentration of 9wt.% or more, therefore, such high concentration can hardly be applied to plastic mold-type IC. Although phosphorus leaching rate is not so high in less than 9 wt.% concentration of P, the rate has dependency of boron concentration. Fig.-6 demonstrates boron concentration dependency of phosphorus leaching rate in high-temperature moistening test. Phosphorus leaching rate increase along with increase of boron concentration and test time. However, such amount of leached phosphorus will not cause a practical problem.



D1

# 次世代 超LSIプロセス技術

一応用



REALIZE INC.

## 第3節 層間絶縁膜

### 3. 低温リフロー膜

松 井 宏

ICの高密度化に伴って、プロセスの低温化、および構造の平坦化が増々重要な課題となってきた。その課題の一つに、層間絶縁膜をより低温で平坦化させるためのリフロー技術がある。

256KビットダイナミックRAM級VLSI迄標準的に適用されていたPSG(phosphosilicate glass)膜を拡散炉中でリフローさせる方法は、約1000℃、30分間以上の熱処理が必要であったため、1MビットダイナミックRAM級VLSIへの適用が困難となってきた。そのため1MビットRAM級VLSIでは、900℃、30分間程度の熱処理で良好なリフロー特性を示すBPSG(borophosphosilicate glass)膜が適用されてきている。

今後、4M・16Mビット級ULSIとさらに高密度化が進むにつれ、低温リフロー化に対する要求は増々強くなってくる。今までに種々のフロー技術に関する報告がされているが、その研究内容は表-1に示す様なBPSG膜、AsSG膜等の低温リフロー膜を適用する方法と、リフローさせるための熱処理をタングステンハロゲンランプに代表される短時間アニール法の適用により、接合深さを浅く保ってリフロー特性を向上させる方法とに分類できる。

ここではBPSG膜を中心に、種々のリフロー技術について概説する。

#### 1. リフローのメカニズム

リフロー膜が高温中でリフローするメカニズムは、表面自由エネルギーが最小になる様に、表面の凹凸が平滑化されていく物質輸送の現象である。加熱状態で生じる物質輸送のメカニズムには、粘性流動、蒸発・凝縮、体積拡散、および表面拡散がある<sup>1)</sup>。

層間絶縁膜のリフローに関するメカニズム解析の報告は少ないが、PSG膜の場合、低濃度領域で表面拡散機構、高濃度領域で粘性流動機構が支配すること<sup>2)</sup>、およびBPSG膜の場合、粘性流動機構が支配していることが報告されている<sup>3)</sup>。

層間絶縁膜の実デバイス上でのリフローは、①膜の性質(粘度、不純物分布、蒸発性など)、②熱処理雰囲気(H<sub>2</sub>O量、温度、時間など)、③幾何学的な要因(段差部の形状、近接する形状、厚さ

など)に影響されるので複雑である。

最近、表面の曲率変化から、表面の移動速度を解析的にシミュレートする方法<sup>4)</sup>や表面張力係数と粘性をパラメータに用いた2次元シミュレーション<sup>5)</sup>が報告された。今後さらに汎用性の高いシミュレーションへと進展していくことが期待される。

## 2. BPSG膜

### 2.1 リフロー特性

BPSG膜は、BSG(borosilicate glass)膜で問題となる可動イオンに対するゲッタリング効果がないこと、および高濃度ボロン領域での水分との反応による失透現象を改善する膜として、BSG膜より層間絶縁膜に適した膜である<sup>6)</sup>。

BPSG膜の形成法には、表-1に示す様に常圧CVD(chemical vapor deposition)法、減圧CVD法、プラズマCVD法等がある。各形成法によるBPSG膜の膜質には相違があるので、リフロー特性も少し異なるがボロン、リン濃度依存性と比べると小さい。

表-1 低温リフロー膜の形成法とリフロー特性

膜	形成法	濃度 (mol%)	リフロー特性	文献
BPSG	常圧CVD法( $\text{SiH}_4, \text{PH}_3, \text{B}_2\text{H}_6, \text{O}_2$ ) 300~430℃	4.4% $\text{P}_2\text{O}_5$ ・14.3% $\text{B}_2\text{O}_3$	リフロー温度800~825℃(スチーム中)、825~850℃( $\text{N}_2$ 中)。	6)
	減圧CVD法( $\text{SiH}_4, \text{PH}_3, \text{BCl}_3, \text{O}_2$ ) ~425℃	7.2% $\text{P}_2\text{O}_5$ ・8.6% $\text{B}_2\text{O}_3$	850℃(30分)、 $\text{N}_2$ 中でリフロー角度50度以下	7)
	減圧CVD法( $\text{TEOS}, \text{PH}_3, \text{TMB}$ ) ~620℃	4.4% $\text{P}_2\text{O}_5$ ・10% $\text{B}_2\text{O}_3$	925℃、30分、スチーム中で良好な形状	8)
		3.4% $\text{P}_2\text{O}_5$ ・16% $\text{B}_2\text{O}_3$	800℃、60分、 $\text{N}_2$ 中でリフロー角度50度以下	9)
	プラズマCVD法( $\text{SiH}_4, \text{PH}_3, \text{B}_2\text{H}_6, \text{N}_2\text{O}, \text{O}_2$ ) 300~380℃	5.5% $\text{P}_2\text{O}_5$ ・14.3% $\text{B}_2\text{O}_3$	820℃、30分、スチーム中でリフロー角度50度	10)
		4.6% $\text{P}_2\text{O}_5$ ・16.3% $\text{B}_2\text{O}_3$	920℃、30分、スチーム中で90%ソルナ化	11)
	スピノン法(シリコン有機物、 $\text{P}_2\text{O}_5$ )	4.4% $\text{P}_2\text{O}_5$ ・11.5% $\text{B}_2\text{O}_3$	940℃、20分、 $\text{N}_2$ 中でリフロー角度50度	12)
BSG	PSG膜+ $\text{B}_2\text{O}_3$ ソースの熱拡散法	4.4% $\text{P}_2\text{O}_5$	750℃、 $\text{B}_2\text{O}_3$ 1,000Åデポでリフロー角度50度	13)
	常圧CVD法( $\text{SiH}_4, \text{B}_2\text{H}_6, \text{O}_2$ ) ~430℃	~19% $\text{B}_2\text{O}_3$	リフロー温度 800~825℃(スチーム中) 825~850℃( $\text{N}_2$ 中)	6)
AsSG	常圧CVD法( $\text{SiH}_4, \text{AsCl}_3, \text{O}_2$ ) ~400℃	~20% $\text{As}_2\text{O}_3$	850℃、20分、 $\text{N}_2$ 中で良好な形状	14)
	常圧CVD法( $\text{SiH}_4, \text{AsH}_3, \text{O}_2$ ) ~450℃	~17% $\text{As}_2\text{O}_3$	800℃、15分、スチーム中で良好な形状	15)
AsPSG	PSG(常圧CVD法)+Asイオン注入法	~8% $\text{P}_2\text{O}_5$ $\text{As} \sim 5 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$	800℃、180分、 $\text{O}_2$ + $\text{N}_2$ 中で良好な形状	16)
PGSG	常圧CVD法( $\text{SiH}_4, \text{GeH}_4, \text{PH}_3, \text{O}_2$ ) ~420℃	~5% $\text{P}_2\text{O}_5$ ~43% $\text{GeO}_2$	800℃、30分、 $\text{N}_2$ 中で良好な形状	17)
Si-Ge	減圧CVD法( $\text{SiH}_4, \text{GeH}_4, \text{B}_2\text{H}_6$ ) ~450℃	$\text{Ge}/\text{Si} \sim 3 \sim 5$	750℃、スチーム中で良好な形状	18)

図-1に常圧CVD法で形成したBPSG膜でのリフロー角度とリン濃度、ボロン濃度の関係を示す。BPSG膜では、PSG膜(図中・印)と比較して、ボロン濃度の増加に伴いリフロー角度が急激に小さくなる。

図-2に850~950℃の温度範囲における、リフロー角度の温度依存性を示す<sup>19)</sup>。3wt.%Bの場合に850℃でテーパ角50度程度が得られ、850℃以下のリフロー温度でも良好な形状を得る

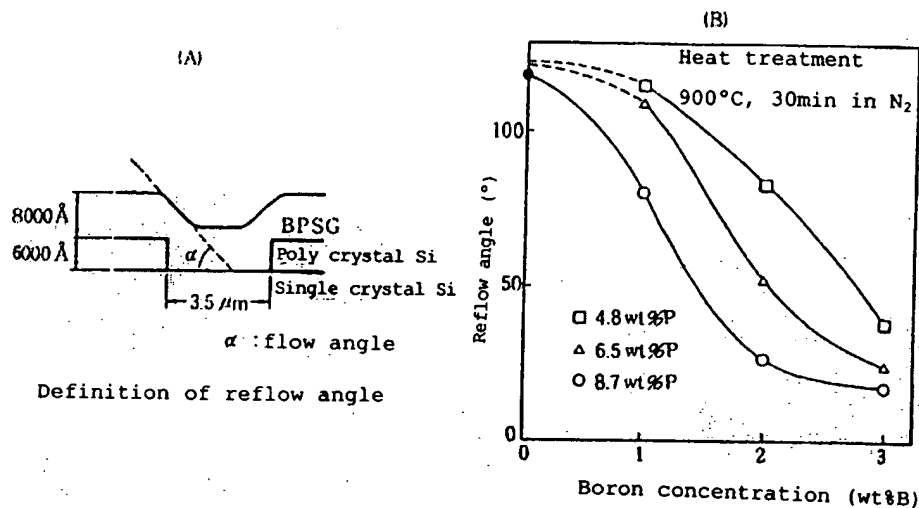


Fig.-1 Boron concentration dependency of reflow angle

ことが可能である。

リフロー効果に対するリン、ボロン不純物量の影響度を比較するには、BPSG膜の構造が $(\text{SiO}_2)_x \cdot (\text{P}_2\text{O}_5)_y \cdot (\text{B}_2\text{O}_3)_z$ であると考えられるので、mol%で比較することができる。図-3は900°C、30分、N<sub>2</sub>雰囲気中熱処理でのリフロー角度と $(\text{P}_2\text{O}_5 + \text{B}_2\text{O}_3)$  mol%との関係を示す。リフロー角度は、 $\text{P}_2\text{O}_5$  mol%と $\text{B}_2\text{O}_3$  mol%の和ではほぼ決まり、リン又はボロン不純物原子がリフロー特性へ与える効果は、ほぼ同等と見做することができる。また、このことから、特定のリフロー角度を得るために必要なリンおよびボロンの総

量が定まる。例えば、50度のリフロー角度を得るには、950°C熱処理でのモル濃度の和は12mol%、900°Cで14mol%、850°Cで18mol%が必要となる。

以上、N<sub>2</sub>雰囲気中での結果について述べたが、BPSG膜の場合もPSG膜と同様に、スチーム雰囲気中熱処理でリフローし易くなる。これは50°C-70°Cの温度低下に相当する効果がある<sup>(19), (20)</sup>。この原因は、膜中に含まれるOH<sup>-</sup>イオンがSiO<sub>2</sub>ネットワークのSi-O結合を弱める

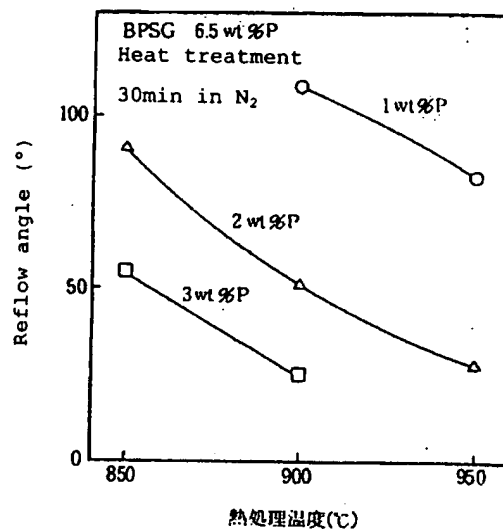


Fig.-2 Temperature dependency of reflow angle



ことによると考えられている<sup>21)</sup>。

## 2.2 耐 湿 性

腐蝕絶縁膜にリフロー膜を適用する場合、ボロンやリン等の添加不純物量を増加させるとリフロー膜の溶融温度(ガラスの場合の軟化温度に相当する)が低下し、低温リフロー化が可能となる。しかし、逆に吸湿性は強くなるので信頼性面からの不純物添加濃度の限界を把握することが重要である。

高温加湿試験における、BP

SG膜中へ侵入する重水の時間依存性をPSG膜と比較して図-4に示す。ここで重水( $D_2O$ )を使用しているのは、膜中及び雰囲気中の水分( $H_2O$ )の影響をなくするためである<sup>19)</sup>。拡散深さは $t^n$ ( $t$ :試験時間)に比例して大きくなり、 $n$ は約0.4とLevinの結果<sup>22)</sup>と一致している。またこの領域での水分の拡散深さは、ボロン濃度の増加により深くなるが、リン濃度の増加では逆に浅くなる特徴がある。

水分の拡散に伴って膜からのリンの溶出が起こる。PSG膜の場合、8-9wt%P以上の濃度でアルミニウム配線層の腐蝕が起こる<sup>11)</sup>。この原因は、PSG膜中のリンと水との反応で生成されたリン酸によるアルミニウムの溶解である。

BP SG膜の高温加湿試験における、リン溶出率とボロン、リン濃度と

の関係を図-5に示す。これらの試料は、試験前に900℃、30分、 $N_2$ 中での熱処理が行なっ

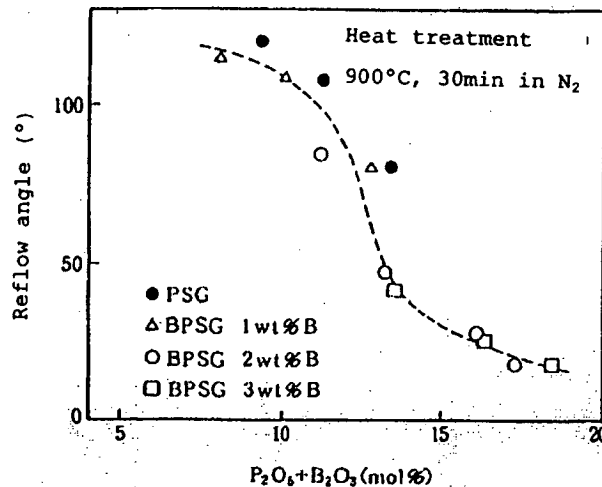


Fig.-3 Relation between reflow angle and  $P_2O_5 + B_2O_3$  (mol%)

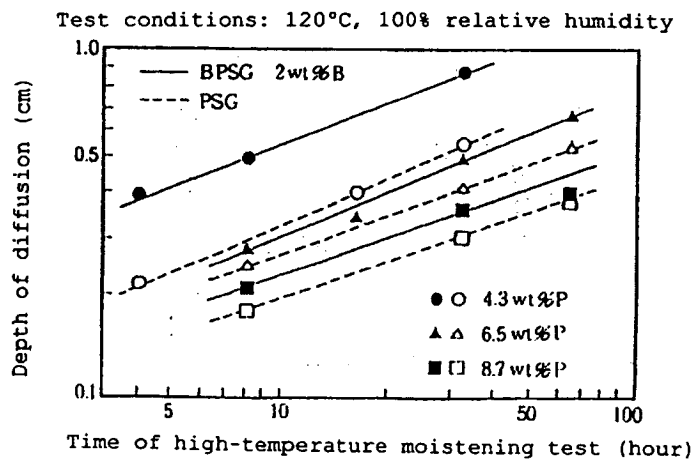


Fig.-4 Relation between depth of diffusion of  $D_2O$  in high-temperature moistening test and test time

ある。BPSG膜の場合もPSG膜の場合と同様に、9wt%P以上の濃度領域では膜中からのリン溶出が急増するので、この様な高濃度領域でのプラスチックモールドタイプICへの適用は困難である。

9wt%P以下の領域でのリン溶出率は小さいが、ボロン濃度依存性がある。図-6に高温加湿試験におけるリン溶出率のボロン濃度依存性を示す。ボロン濃度および試験時間の増加に伴って、膜中からのリン溶出率は大きくなる。しかし、この程度のリン溶出量では実用上問題は無いと考えられる。

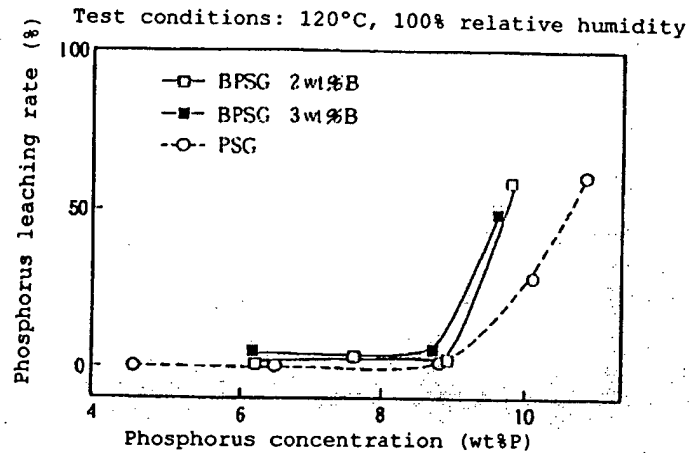


Fig.-5 Relation between Phosphorus concentration and Phosphorus leaching rate in high-temperature moistening test

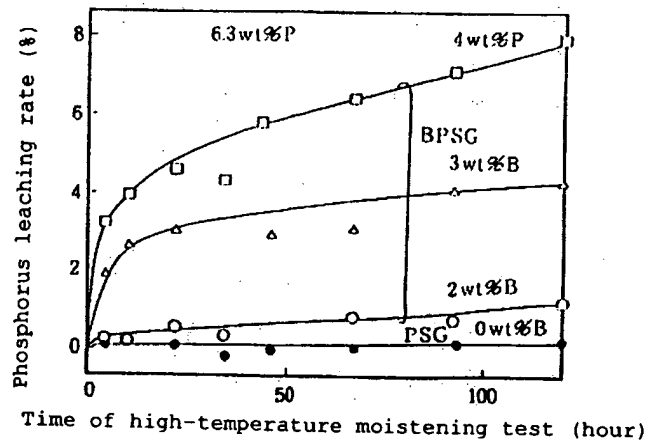


Fig.-6 Boron concentration dependency of phosphorus leaching rate in high-temperature moistening test

### 3. 他の低温リフロー膜

BPSG膜、BSG膜以外の低温リフロー膜として、表-1に示した膜に関して報告がある。

AsSG(Arsenosilicate Glass)膜の場合、膜中に存在する $As_2O_3$ は水分との反応が $B_2O_3$ や $P_2O_5$ より小さい<sup>23)</sup>ので砒素添加量を増加できる可能性がある。また、AsSG膜は分極効果が小さいこと、アルミニウム配線腐蝕が発生しにくいことが報告されている<sup>14)</sup>。チャージアップ現象<sup>24)</sup>

の解決を図ることにより、有力なリフロー膜になると考えられる。

PSG膜へ砒素をイオン注入することにより、リフロー温度を低下させる方法がある<sup>16)</sup>。このリフロー温度が低下する原因は、リフロー熱処理中の $O_2$ 分圧依存性が大きいことより、注入された砒素不純物が $As_2O_3$ 化して膜の熔融温度が低下するためである<sup>16)</sup>。当方法は90 keV以上の加速エネルギーで $5 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$ 程度のドーズ量が必要であり、現状のイオン注入装置では量産化が難しい。

PGSG (Phosphogermanosilicate Glass) 膜の場合、ゲルマニウム添加によるリフロー温度の低下効果はボロンの場合より小さい<sup>23)</sup>ので、高濃度の $GeO_2$ 添加量が必要になると考えられる。

以上述べた膜は $SiO_2$ 膜に他の添加元素の酸化物を含有させることにより、膜の熔融温度が低下することを利用した方法であるが、異なる平坦化法の膜としてSi-Ge膜<sup>24)</sup>がある。

Si-Ge膜による平坦化プロセスの概要を図-7に示す。平坦化を起こす原因は、酸化反応で生成される $GeO_2$ の揮発性が高く、蒸発する過程で $GeO_2-SiO_2$ 膜のネットワークを切ることによる<sup>24)</sup>。平坦化処理後に行なう水素処理の条件を選ぶことにより、膜の体積膨張率をほぼ1にすること、および処理後の膜組成をほとんど $SiO_2$ だけにすることができる可能性がある<sup>25)</sup>。今後、膜の安定性を改善することにより有力な平坦化技術になると考えられる。

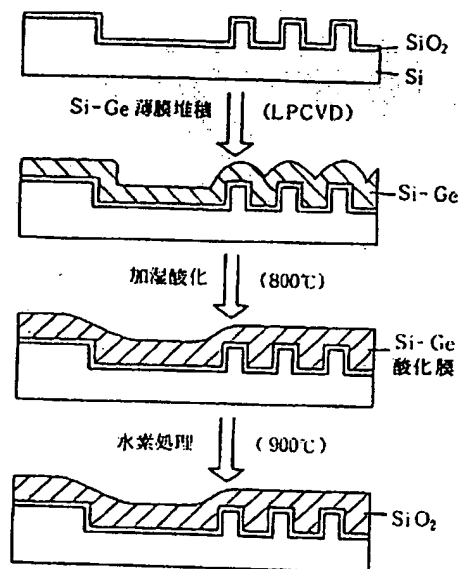


図-7 Si-Ge薄膜の酸化を用いた平坦化プロセスの概要<sup>24)</sup>

#### 4. 短時間熱処理リフロー法

##### 4.1 短時間アニール (rapid thermal anneal) 法

ハロゲンランプ<sup>26)</sup>、グラファイトヒータ<sup>27)</sup>、クリプトン、またはアルゴンガスのアー クランプ<sup>28)</sup>、<sup>29)</sup>などを使用する短時間ランプアニール法がある。これらを適用したリフロー効果はほぼ同等であると考えられる。

図-8にBPSG膜で行なったタングステンハロゲンランプ法によるリフロー角度的ボロン濃

度依存性を示す。当方法の20秒熱処理と前述した拡散炉中での30分熱処理とを比較してみると、30分熱処理の場合よりさらに100-150℃程度高温での処理が必要である。これはリフロー形状変化の原因である物質輸送の速度が遅いことを表わす。物質輸送の時間依存性は支配するメカニズムにより異なるが、BPSG膜(4-5wt%B, 4wt%P)の場合の形状の変化は、1,200℃、2時間の熱処理( $N_2$ 中)でも飽和しないことが報告されている<sup>5)</sup>。

短時間アニール法をリフロープロセスへ適用する場合、ソース・ドレイン接合特性を評価することが重要である。BPSG膜リフロー工程への適用により、従来の拡散炉アニール法よりシート抵抗が小さく、接合リーク特性も良くなることが報告されている<sup>30)</sup>。この原因は、短時間アニールの方が熱処理温度を高くできるため、イオン注入不純物のキャリア活性化率が大きいこと、および結晶回復の速度が速いことによる。

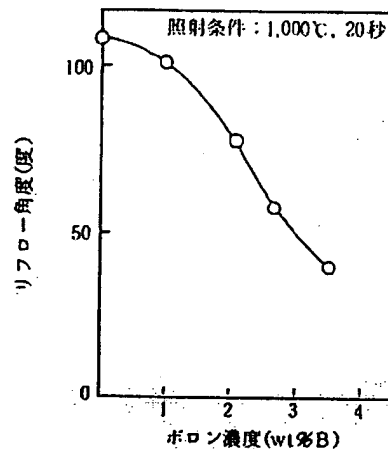


図-8 ハロゲンランプ法によるBPSG膜(6.2wt%P)のリフロー角度のボロン濃度依存性

#### 4.2 レーザ照射法

さらに短時間でリフローを起させる方法として、 $CO_2$  レーザ照射法<sup>31)</sup>がある。10 $\mu m$  領域の波長をもつレーザ光源を使用するので、Si基板での吸収は無視でき、 $SiO_2$ 系リフロー膜での選択的な吸収が可能である。この為、レーザ照射による不純物の拡散はボロンの場合でもほとんどないことが特徴である<sup>31)</sup>。

#### 4.3 高水蒸気圧中でのリフロー法

リフロー処理雰囲気中の水蒸気圧を高くするとリフローし易くなる<sup>32)</sup>。

PSG膜の900℃、98分リフロー処理における雰囲気ガス圧力とリフロー度(図-9(A)の $\theta$ )との関係を図-9に示す。雰囲気ガスがドライ $N_2$ 、ドライ $O_2$ の場合、圧力依存性はないが、バイロジェニックの場合には水蒸気圧力の増加と共にリフロー度が良好になる。

高水蒸気圧中リフロー特性の特徴として、リン濃度依存性が顕著になる。ガス圧力5 kg/cm<sup>2</sup>水蒸気中でのリン濃度効果は、2wt%Pの増加が120℃の温度上昇効果に相当し<sup>32)</sup>、常圧の場合の結果<sup>10), 34)</sup>より3~4倍大きくなる。

当方法はリフロー膜中の添加不純物を選択することにより、700℃以下でのリフローを可能とする有力な低温リフロー法と考えられる。しかし、高圧力中では酸化速度および不純物拡散速度

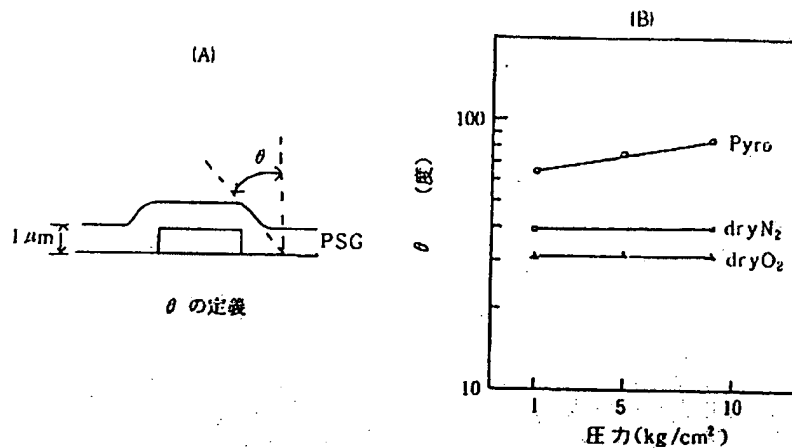


図-9 雰囲気ガス圧力とPSGフローの関係<sup>21)</sup>  
(熱処理温度 900℃, リン濃度 8.2wt%)

も大きくなるので、それらを考慮したプロセス設定が重要である。

## 5. 今後の課題

以上、層間絶縁膜の低温リフロー技術について概説してきた。今後、さらに微細化、構造の三次元化が進むにつれて、層間絶縁膜の平坦化は増々重要なファクターとなっていく。従って、今迄に実用化されているBPSG膜やAsSG膜などより、さらに低温リフロー化に適合する新しい膜の開発が重要である。また、SiO<sub>2</sub>系の低温リフロー膜による平坦化技術だけでなく、ポリイソビ樹脂など有機系絶縁膜、およびバイアスCVD法やエッチバック法など他の平坦化技術との併用により、完全に平坦な層間絶縁膜構造を達成させることが重要となる。

## 参考文献

- 1) 北沢等：「固体表面近傍での物質輸送」, 応用物理, 第49巻, 第6号, 579, 1980.
- 2) N. Hashimoto *et al.*: Glass Flow Mechanism of Phosphosilicate Glass and Its Application in MOS Devices, J.J.A.P. 16 (1977) 73.
- 3) J.S. Mercier *et al.*: Rapid Isothermal Fusion of BPSG Films, MRS Symposium Proceedings, Vol. 52, p. 251.
- 4) R.A. Levy *et al.*: Reflow Mechanisms of Contact Vias in VLSI Processing, J. Electrochem. Soc. 133 (7) (1986) 1417.
- 5) P. Sutardja *et al.*: Two-Dimensional Simulation of Glass Reflow and Silicon Oxidation, *Symp. on VLSI Technology*, 39 (1986).

- 6) W. Kern *et al.*: Chemically Vapor-Deposited Borophosphosilicate Glasses for Silicon Device Applications, *RCA Review* 43 (1982) 423.
- 7) H. Matsui *et al.*: Low Temperature Glass Flow, *SEMI Technology Sympo. Proceedings, W4-1, Dec.* (1984).
- 8) T. Foster *et al.*: A Low Pressure BPSG Deposition Process, *J. Electrochem. Soc.* 132 (1985) No.2, 505.
- 9) F.S. Becker *et al.*: A New LPCVD Borophosphosilicate Glass Process Based on the Doped Deposition of TEOS-Oxide, *J. Electrochem. Soc. Ext. Abstracts, Fall* (1985) p. 380.
- 10) J.E. Tong *et al.*: Process and Film Characterization of PECVD Borophosphosilicate Film for VLSI Applications, *Solid State Technol.* 161 (1984).
- 11) I. Avigal: Inter-Metal Dielectric and Passivation-Related Properties of Plasma BPSG, *ibid*, 217, Oct. (1983).
- 12) S.L. Chang *et al.*: SPIN-ON BPSG and its Application to VLSI, *Electrochem. Soc. Ext. Abstracts Fall* (1985) p. 323.
- 13) C.Y. Fu: A Novel Borophosphosilicate Glass Process, *IEDM Digest of Tech. Papers*, 602 (1985).
- 14) 小林等: 「珪素シリケートガラスによる低温リフロー技術」, 半導体・集積回路技術第27回シンポジウム講演論文集 (1984) p. 80.
- 15) G.W.B. Ashwell *et al.*: The Reflow of Arsenosilicate Glass, *Proc. Int. IEEE VLSI Multilevel Interconnection Conf.*, (1985) p. 285.
- 16) D.C. Chen *et al.*: Enhanced Flow of Phosphosilicate Glass by Ion Implantation, *IEDM Digest of Tech. Papers*, (1983) p. 43.
- 17) A. Iqbal *et al.*: Phosphogermanosilicate Glass Films for VLSI Devices, *J. Electrochem Soc. Ext. Abstracts, Fall* (1983) p. 359.
- 18) T. Ogino *et al.*: A New Planarization Technique for LSI Utilizing Si-Ge Film Oxidation, *Ext. Abstracts of the 16th Conf. on Solid State Devices and Materials*, (1985) p. 495.
- 19) 松橋等: 「BPSGガラスフローと膜特性」, 半導体・集積回路技術第29回シンポジウム講演論文集 (1985) p. 73.
- 20) W. Kern *et al.*: Optimized Chemical Vapor Deposition of Borophosphosilicate Glass Films, *RCA Review*, 46 (1985) 117.
- 21) R.A. Boulting *et al.*: Deposition and Reflow of Phosphosilicate Glass, *J. Electrochem. Soc.* 132 (1985) No.1, 141.
- 22) R.M. Levin: Water Absorption and Densification of Phosphosilicate Glass Films, *J. Electrochem. Soc.* 129 (1982) No.8, 1765.
- 23) K. Nassau *et al.*: Modified Phosphosilicate Glasses for VLSI Applications, *J. Electrochem. Soc.*, 132 (1985) No.2, 409.
- 24) 酒井等: AsSG膜のcharge up現象とその抑制法」, 半導体・集積回路技術第30回シンポジウム講演論文集, 117, 1986.

- 25) 荻野等: Si-Ge 薄膜の酸化による低温平坦化, 半導体・トランジスタ研究会, SSD84-99, 17 (1984).
- 26) T. Hara *et al.*: Reflow of PSG Layers by Halogen Lamp Short Duration Heating Technique, *Jpn. J. Appl. Phys.* 23 (1984) No.7, L452.
- 27) R.T. Fulk *et al.*: Rapid Isothermal Annealing of Ion Implantation Damage Using a Thermal Radiation Source, *Appl. Phys. Lett.* 39 (1981) No.8, 604.
- 28) A. Gat: Heat-Pulse Annealing of Arrenic-Implanted Silicon with a CW Arc Lamp, *IEEE Electron Device Letters* EDL-2 (1981) No.4, 15.
- 29) J.C. Gelpey *et al.*: Oxide Growth Using the Water-Wall ARC Lamp, *MRS Symposia Proceedings* 52 Fall, (1985) 321.
- 30) H. Nishimura *et al.*: A Rapid Isothermal Annealing for a VLSI Interconnection Technology, *J. Electrochem Soc. Ext. Abstracts, Fall* (1984) p. 760.
- 31) M. Delfino *et al.*: Laser Activated Flow of Phosphosilicate Glass in Integrated Circuit Devices, *IEEE Electron Device Letters*, EDL-3 (1982) No.5, 116.
- 32) 真弓等: 「高圧酸化法の LSI プロセスへの応用」, 半導体・トランジスタ研究会, SSD82-151, 19 (1982).

次世代超LSIプロセス技術  
応用編

昭和63年4月30日

定価 38,000円

発行所 株式会社 リアライズ社

〒113 東京都文京区湯島2-16-13  
電話 03(815) 8511(代)

発行人 村川 順之

制作 相次 孝美

© 1988

禁無断転載

印刷所/開善光堂印刷所